

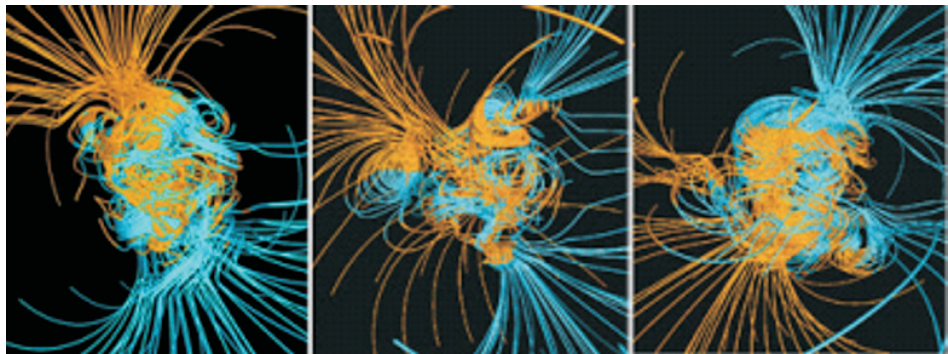
O polu magnetycznym gwiazd i planet

Prawie wszystkie zbadane gwiazdy i planety posiadają pola magnetyczne. Szczególnie dobrze poznano właściwości pól magnetycznych Ziemi i Słońca. Pole magnetyczne zazwyczaj ma postać dipola, podobnie jak stałe magnesy używane powszechnie do różnych celów. Bieguny magnetyczne są położone na ogół blisko biegunów geograficznych, co wskazuje na związek obrotu planety z wytwarzaniem pola magnetycznego. Pole magnetyczne rotuje razem z wytwarzającym je ciałem, przynajmniej do pewnej odległości. Gdyby pole magnetyczne było sztywno związane z rotującym ciałem i obracało się z tą samą prędkością kątową, to na pewnej odległości liniowa prędkość przekroczyłaby prędkość światła c , a to jest niemożliwe. Opisując pulsary, czyli rotujące gwiazdy neutronowe, powierzchnię, na której prędkość pola magnetycznego musiałaby stać się równa c nazywamy **cyldrem świetlnym**.

Dokładne pomiary ziemskiego pola magnetycznego pokazują, że jest ono bardzo skomplikowane w szczegółach: występują anomalie, krótko- i długoczasowe zmiany oraz rozbieżności w stosunku do idealnej postaci dipola. Niezwykle uderzające są, bardzo dobrze udokumentowane na podstawie badań geologicznych, *przebiegunowania pola magnetycznego*. Zachodzą one nieregularnie co 100 tysięcy–2 miliony lat. Ostatnie miało miejsce 780 000 lat temu. W efekcie przebiegunowania pole magnetyczne przyjmuje podobną postać jak wcześniej, ale bieguny magnetyczne zamieniają się miejscami. Podobne zjawisko obserwujemy regularnie co 11 lat na Słońcu. Każdy kolejny cykl aktywności sło-

necznej jest związany z odwróceniem pola magnetycznego. Dlatego często za pełny cykl uważa się dwa cykle aktywności mierzonych liczbą plam, rozbłysków itp., po których pole magnetyczne wraca do pierwotnej orientacji.

Ziemskie pole magnetyczne jest niezbyt silne, jego indukcja wynosi od 30 do 60 μT (mikrotesli). Dla porównania, magnes neodymowy wytwarza w bliskich odległościach pole o indukcji rzędu 1 T. Pole to odgrywa jednak ogromną rolę chroniąc powierzchnię planety przed wiatrem słonecznym i innymi naładowanymi cząstkami pochodzenia kosmicznego. Wystarcza ono także do ustawienia namagnesowanej igły zgodnie z liniami sił pola, dzięki czemu możemy korzystać z kompasów magnetycznych. W okolicach biegunów magnetycznych linie pola stają się prostopadłe do powierzchni, dzięki czemu promieniowanie kosmiczne może docierać znacznie bliżej powierzchni wytwarzając efektowne zorze polarne. Pozycje biegunów magnetycznych zmieniają się w tempie sięgającym współcześnie od 10 do 40 km/rok [1].



Ilustracja 1. Przebiegunowanie pola magnetycznego uzyskane w symulacji ziemskiego dynama [4]. Symulacja komputerowa geodynama w 3D; autorzy: Gary A. Glatzmaier (University of California Santa Cruz) i Paul H. Roberts (University of California Los Angeles)

	Pole magnetyczne	Natężenie	Kąt pomiędzy polem i osią obrotu	Okres obrotu wokół osi	Zmiana biegunów (okres)
Merkury	dipolowe	0,3 μT	0°	59 dni	?
Wenus	brak	–	–	–243 dni	–
Ziemia	dipolowe	30...60 μT	11°	1 dzień	0,1–2 mln lat
Księżyc	nieregularne	0,001...0,1 μT	–	1 miesiąc	–
Mars	brak	–	–	1 dzień	w przeszłości?
Jowisz	dipolowe	0,4...1,4 mT	10°	10 godzin	?
Saturn	dipolowe	20 μT	0°	10 godzin	?
Uran	niecentralne	10...110 μT	59°	17 godzin	?
Neptun	kwadropolowe	~14 μT	47°	16 godzin	?
Słońce	zmienne	~4 mT	zmienny	25–35 dni	11 lat
Gwiazdy neutronowe	dipolowe	10 GT	duży	0,01–10 sekund	?

Silne pola magnetyczne podobne do ziemskiego posiadają Jowisz i Saturn, które są planetami szybko rotującymi (tabela). Natężenie pola magnetycznego Jowisza ustępuje w Układzie Słonecznym jedynie polu występującemu w okolicach plam słonecznych. Orientacyjne dane dotyczące innych obiektów podano w tabeli.

Pola magnetyczne planet i gwiazd są bardzo różnorodne. Można jednak zauważyć, że *brak* pola magnetycznego dotyczy ciał wolno rotujących, prawdopodobnie nieposiadających płynnych składników. Z drugiej strony, obracające się ciała gazowe (Jowisz, Słońce), lub ciała posiadające płynne jądra (Ziemia, Merkury), posiadają pola magnetyczne. Skrajnym przykładem są obracające się z okresami rzędu ułamków sekundy gwiazdy neutronowe: pulsary i magnetary. Ich pole magnetyczne jest tak silne, że gęstość energii w nim zawarta (po przeliczeniu zgodnie ze słynnym wzorem Einsteina $E = m c^2$ na masę), okazuje się większa niż ta niesiona przez „normalną” ziemską materię, np. ołów.

Standardowym wyjaśnieniem istnienia i właściwości pól magnetycznych obracających się płynnych ciał jest **teoria dynama**. Jej niezbędnym elementem jest źródło energii wymuszające radialne konwektywne strumienie płynu. Na Ziemi energia jest generowana w jądrze planety dzięki rozpadowi promieniotwórczym, natomiast planety giganty czy magnetary zużywają zapasy ciepła zgromadzone w momencie narodzin. Gwiazdy produkują energię w reakcjach termojądrowych. Płyn musi przewodzić prąd elektryczny. Przykładowo, jądro Ziemi zawiera płynne żelazo, Jowisz metaliczny wodór. Zasadnicza idea działania dynama jest prosta i polega na wzmacnianiu istniejącego szczątkowego pola magnetycznego. Na ładunki znajdujące się w poruszającym się przewodzącym płynie działa siła, która wzbudza płynący prostopadle prąd. Prąd elektryczny generuje pole magnetyczne, które dodaje się do pierwotnie istniejącego. Szczegóły tego procesu wychodzą poza ramy opisu słownego [2–4]. Standardowym narzędziem do badania zjawiska dynama są symulacje w 3D przy użyciu największych superkomputerów. Dzięki takim modelom po wielu latach udało się nie tylko odtworzyć samo dipolowe pole magnetyczne, ale także jego przebiegunowanie [4].

Nie należy jednak ulegać złudzeniom: kompletna odpowiedź na pytanie, jak powstaje pole magnetyczne planet i gwiazd, ciągle nie jest znana. W szczególności żaden model nie jest w stanie wyliczyć zmierzonego 11-letniego cyklu zmian pola Słońca, ani przewidzieć kiedy nastąpi zamiana biegunów magnetycznych na Ziemi. Uważny czytelnik zauważy też inny problem. Otóż dynamo potrafi jedynie wzmacniać pole już istniejące. Pola magnetyczne są obecnie powszechne w Kosmosie, lecz w odległej przeszłości pole musiało powstać po raz pierwszy z niczego. Tego teorie typu dynama nie wyjaśniają. Przyszłe obserwacje i obliczenia dotyczące także innych gwiazd i planet pokażą, czy rotacja i konwekcja są nierozzerwalnie związane z istnieniem pól magnetycznych, przebiegunowaniem oraz zweryfikują teorię dynama.

Dodatkowe informacje:

[1] http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2003/29dec_magneticfield/

[2] <http://www.psc.edu/science/glatzmaier.html>

[3] http://scienceblogs.com/highlyallochthonous/2008/03/where_the_earths_magnetic_fiel.php

[4] G.A. Glatzmaier and P.H. Roberts, *A three-dimensional self-consistent computer simulation of a geomagnetic field reversal*, Nature, 377, 203–209 (1995)



Andrzej Odrzywołek